

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Digitální modulace v telekomunikacích
Digital Modulation in Telecommunications

2011

Martin Gebauer

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Poděkování

Děkuji Ing. P. Merovi, Ph.D. z katedry telekomunikační techniky VŠB-TU Ostrava za rady při řešení bakalářské práce a za metodickou pomoc při implementaci modulací, také bych rád poděkoval rodině za podporu během psaní této práce.

Abstrakt

Tématem této práce jsou digitální modulace v telekomunikacích. Řekneme si, co je modulace, dělení na analogové a digitální modulace, kde se zaměříme na typy digitálních modulací. Popíšeme amplitudové, frekvenční i fázové klíčování. V další části najdete popis DSL technologií, historický vývoj přes symetrické DSL až po asymetrické. Podrobněji si popíšeme především ADSL. Následně vysvětlím digitální modulace v ADSL. Jsou to CAP modulace, používána do roku 1996 a DMT modulace, která nastoupila na místo CAP a využívá se stále. Praktickou částí je návod na vytvoření vybrané digitální modulace na výukovém stroji TIMS, ve formě laboratorního měření pro studenty, včetně ukázkového protokolu. Praktická část je mnou vytvořena laboratorní práce pro studenty, na výukovém stroji TIMS.

Klíčová slova

Modulace, digitální modulace, DSL, CAP, DMT.

Abstract

The topic in this work is digital modulation in Telecommunications. We will talk about, what is modulation, division on analog and digital modulation, where we focus on digital modulation. I will describe amplitude, frequency and phase shift keying. In second part you will find the description of DSL technology, historical evolution from symmetric DSL to asymmetric. I will look in detail on ADSL. Afterwards I will explain digital modulation in ADSL. These are CAP modulation, used till year 1996 and DMT modulation, which takes place instead of CAP, until today. Practical part is guideline on how to create chosen digital modulation on the learning system TIMS in form of laboratory measurement for students, including exemplary protocol.

Keywords

Modulation, digital modulation, DSL, CAP, DMT.

Seznam zkratek

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

ASK – amplitude shift keying

CAP – Carrierless amplitude phase modulace

DMT – Discrete Multitone Modulation

FSK – Frequency shift keying

HDSL – high-bit rate Digital Subscriber Line

ISDL – Integrated Services Digital Network DSL

MCM – Multi carrier modulation

POTS – plain old telephone services, staré telefonní linky

PSK- Phase shift keying

SDSL – Symmetric Digital Subscriber Line

SNR – signal to noise ratio – poměr signálu k šumu

QAM – Quadrature amplitude modulation

VDSL – Very-high bit rate Digital Subscriber Line

Obsah

Seznam zkratk	4
Seznam obrázků	6
1 Úvod:	1
2 Modulační v telekomunikacích	2
2.1 Analogové modulační	2
2.2 Digitální modulační	3
2.1.1 Výhody a nevýhody digitálních modulačních	3
2.1.2 Dělení digitálních modulačních podle paměti	4
2.1.3 Dvojstavové a více stavové digitální modulační	4
2.1.4 Kombinované modulační	4
2.1.5 Amplitudové digitální modulační	4
2.1.6 Frekvenční digitální modulační	5
2.1.7 Fázové digitální modulační	6
2.1.8 Kombinované digitální modulační	8
3 Technologie digitální účastnické smyčky	10
3.1 Symetrické DSL	10
3.1.1 IDSL	10
3.1.2 High-bitrate DSL	11
3.1.3 High-bitrate DSL2	11
3.1.4 Symmetric DSL	12
3.1.5 G.SHDSL	12
3.2 Asymetrické DSL	13
3.2.1 Asymmetric DSL	13
3.2.2 Very-high bit rate DSL	16
3.2.3 Budoucí vývoj	16
4 Digitální modulační v ADSL	17
4.1 Carrierless amplitude phase modulační	17
4.1.1 CAP/QAM Dual Mode	17
4.2 Diskrétní více tónová modulační	18
4.3 Porovnání	19
5 Realizace vybrané modulační formou návodu na cvičení	20
5.1 Výukový stroj TMS	20
5.2 Osciloskop PicoScope	20
5.3 Laboratorní měření ASK signálu	21
5.4 Laboratorní měření QAM/4PSK signálu	23
6 Závěr	25
Literatura	1
Seznam příloh	2

Seznam obrázků

Obr. 1 Přenos signálu přes medium

Obr. 2 ASK modulace

Obr. 3 FSK modulace

Obr. 4 PSK modulace

Obr. 5 Konstelační diagram 8-PSK

Obr. 6 Konstelační diagram QPSK

Obr. 7 64- QAM

Obr. 8 ADSL diagram

Obr. 9 ADSL bez ISDN

Obr. 10 Blokové schéma CAP modulace – zdroj:

http://www.kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2003/xDSL/pd_modulace.htm

Obr. 11 ADSL DMT

Obr. 12 DMT vysílač

Obr. 13 DMT přijmač

Obr. 14 TIMS – zdroj: <http://www.picotech.com/>

Obr. 15 Osciloskop PicoScope – zdroj: <http://www.picotech.com/>

Obr. 16 Software PicoScope – zdroj: <http://www.picotech.com/>

Obr. 17 Ukázka ASK signálu

Obr. 18 Ukázka demodulace

Obr. 19 Ukázka modulovaného signálu QPSK

Obr. 20 Diagram kanálů

1 Úvod:

Neustále inovace, vznik nových technologií, zánik nepoužívaných, i takhle by se dal definovat obor IT a telekomunikací. Modulace nejsou žádnou výjimkou, od začátku prvních telekomunikačních sítí, až do dnes, se objevila spousta typu modulací. Kdysi hojně využívané analogové modulace jsou nyní vytlačeny digitálními modulacemi a přežívají už jen v posledních starých telekomunikačních sítích jako je rozhlas a analogové vysílání TV. Začíná doba digitální, vše se považuje už za data, rozdíl mezi audiem videem a daty se smývá. Digitalizace se dostává do podvědomí lidí, převážně z televizního důvodu, kdy lidé vlastníci staré televize, přestanou přijímat signál a jejich programy už jim nepoběží. Digitalizaci si nepředstavujeme jen digitální příjem TV, ale třeba i přenos dat přes přístupové médium. Proto jsem se zaměřil na aktuální téma digitálních modulací.

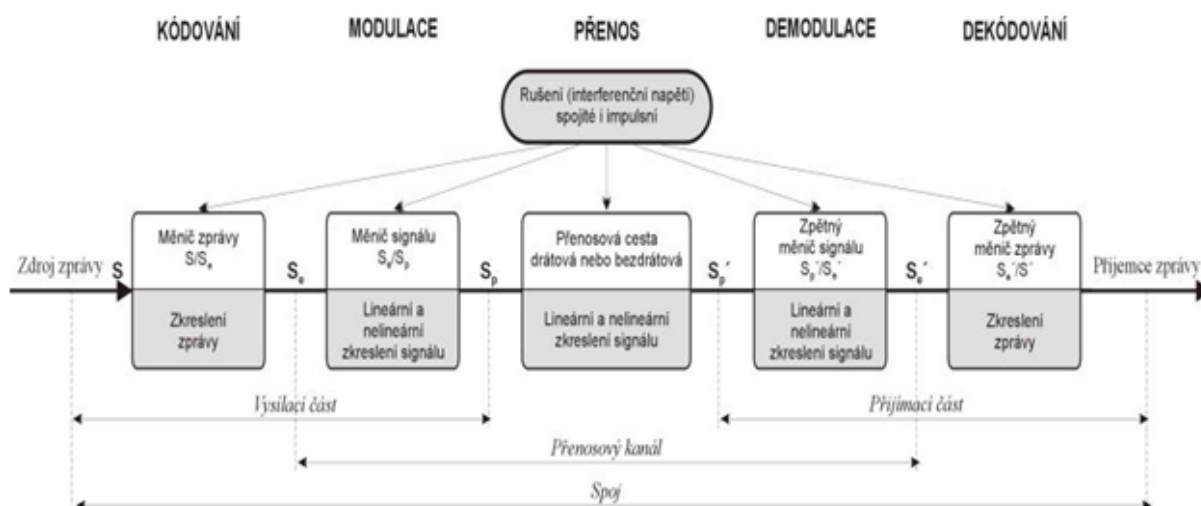
V první kapitole naleznete digitální modulace, jejich rozdělení, jednotlivé typy, jejich vlastnosti a praktické použití. V druhé části bakalářské práce si řekneme o většině DSL technologií. Začneme historicky od prvních až po současnost. Detailněji si popíšeme ADSL, nejrozšířenější vysokorychlostní DSL a také VDSL technologii, která dokáže do budoucna nahradit ADSL. V třetí části se zaměříme na digitální modulace v ADSL. Jedná se o carrierless amplitude phase (CAP) modulaci a Discrete multi tone modulaci (DMT). V poslední kapitole se budeme zabývat vytvořením laboratorního měření ve formě návodu na cvičení pro studenty na výukovém stroji TIMS a dvou ukázkových protokolů.

Cílem této práce je vytvoření přehledu a vysvětlení digitálních modulací, popsat historický vývoj DSL, podrobněji popsat masově rozšířené ADSL a digitální modulace, které používá či používalo. Posledním bodem je pro mě vytvoření srozumitelných a poučných laboratorních měření pro studenty na výukovém stroji TIMS, včetně protokolů.

2 Modulace v telekomunikacích

Modulace je obecně definována jako proces, při němž se mění v rytmu modulačního signálu amplituda, nebo frekvence, nebo fáze nosné vlny.[1]

Zařízení, které danou funkci provádí, se nazývá modulátor. Na druhé straně provádí inverzní funkci demodulátor.



Obr. 1 Přenos signálu přes medium

Modulace používáme jen v přeloženém pásmu, v základním pásmu nám stačí kódování, kterému se občas v terminologii taky říká modulace, i když nemění nosnou vlnu. Nosná vlna je signál, který modulujeme modulačním signálem, většinou sinusoida nebo cosinusoida. Modulační rychlost je rychlost, s jakou se mění přenášený signál, tzn. počet změn signálu za sekundu. Měří se v jednotkách zvaných BAUD. Oproti tomu existuje přenosová rychlost, která vyjadřuje počet bitů přenesených za jednu sekundu. Modulační signál odpovídá signálu, který chceme namodulovat na nosný, je analogový nebo digitální. Na konci procesu nám vznikne modulovaný signál.

2.1 Analogové modulace

Analogové modulace jsou starší a převážně na ústupu. V současnosti jsou vytlačovány digitálními modulacemi. Tenhle typ modulace bývaly použity v prvních systémech pro rádiovou komunikaci a využívali amplitudovou modulaci. Časem k ní přibyla frekvenční a fázová analogová modulace.

Nyní se analogové modulace používají jen v jednodušších systémech, jako je rozhlas. Přesto frekvenční modulace se objevuje i v náročnějších aplikacích jako je stereofonní rozhlas nebo analogové družicové televize.

Mění-li se amplituda napětí modulované nosné vlny, když její fáze a frekvence zůstává stejná, jedná se o amplitudovou modulaci. Pokud amplituda zůstává stejná a měníme frekvenci, vzniká frekvenční modulace a nakonec, pokud měníme fázi a amplituda s frekvencí zůstane stejná, vzniká fázová modulace.

2.2 Digitální modulace

Prvotní digitální modulace – nebo spíše jen kódování, se získávaly v základním pásmu z analogových modulací, které byly hned využity znova v základním pásmu, přes metalické nebo optické kabely. Pokud bychom chtěli signál přenášet rádiově, tedy bezdrátově musíme tyto signály namodulovat na vysokofrekvenční nebo mikrovlnnou nosnou vlnu.

Technologii modulace lze také využít ve formě frekvenčního multiplex FDM, což nám dá možnost přenášet mnoho vzájemně nezávislých modulačních signálů bez vzájemného rušení.

2.1.1 Výhody a nevýhody digitálních modulací

Digitální modulace má spoustu výhod. Mezi které patří primární modulační signál, který už mívá většinou digitální podobu – počítačové a multimediální data, proto je vhodné přenášet je přes digitální modulace. Dále digitální komunikační systémy zajišťují mnohem kvalitnější přenos. Kvalita dat se během přenosu nemění a chybovost lze eliminovat. Samotné digitální modulace jsou mnohem odolnější vůči interferencím a šumu, jelikož přenos konečného počtu stavů modulované nosné vlny je při působení nepříznivých vlivů jednodušší než přenos nosné vlny s analogovou modulací. Digitální modulace je efektivnější, příklad: na jednu frekvenci se vleze více televizních vysílání, u analogových jen jedna. Tyhle modulace můžou přenášet různé druhy dat – obraz, hlas i surová data najednou. Digitální přenos je možné zabezpečit spousty metodami šifrování mnohem lépe, než analogový přenos, který je náchylný k odposlechu, úmyslnému rušení nebo jinak. V současnosti, se jedná o velmi důležitou vlastnost. Jako poslední velkou výhodou mohu uvést implementaci digitálních modulačních a kódovacích formátů, které lze provádět v softwarové oblasti za použití moderních digitálních procesorů.

Digitální modulace má také své nevýhody. Analogové systémy jsou jednodušší na řešení a realizaci než digitální. Také modulace s nízkým počtem stavů zabírají větší šířku pásma než analogové, rozdíl mizí při běžném použití s velkým počtem stavů a kódováním.

2.1.2 Dělení digitální modulací podle paměti

Digitální modulace s pamětí – v modulaci nezáleží jen na současném stavu či symbolu ale také na předcházejícím. Využíváno hlavně v diferenciálních modulacích. Opakem je digitální modulace bez paměti.

2.1.3 Dvojstavové a více stavové digitální modulace

U dvojstavových digitálních modulací se nosná vlna mění okamžitě podle hodnoty binárního modulačního signálu jen mezi dvěma stavy. Tomuto termínu se říká klíčování na rozdíl od analogových modulací. Používáme označení ASK pro amplitudové klíčování, FSK pro frekvenční klíčování a PSK pro klíčování fázovým zdvihem. Často jsou značeny jako BASK, BFSK, BPSK, jako Binary.

Vícestavové digitální modulace se vyvinuly ke zvětšení přenosových rychlostí. Počet stavů je $M = 2^n$, kde n je přirozené číslo větší než jedna. U čtyřstavových modulací každý stav znázorňuje dvojici bitů (DIBIT), u osmistavových trojici (TRIBIT). Počet stavů se píše před jméno modulace, vznikají tak názvy 2ASK apod. 4stavové modulace mohou být psány jako 4PSK, také mívají označení Q na začátku, tzn. 4PSK je spíše známa jako QPSK (quadrature), i když v implementaci je drobný rozdíl. Počet stavů se nedá do nekonečna zvyšovat, jelikož by je přijímač nedokázal rozlišit. Všeobecně se dá říci, že se nejlépe rozeznává fázová modulace.

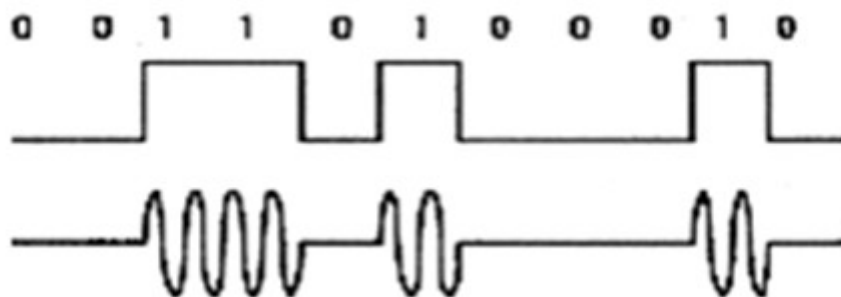
2.1.4 Kombinované modulace

Základní modulace nedokáží běžně dosáhnout maximální přenosové rychlosti, proto se jednotlivé modulace kombinují. Pro ukázkou můžu jmenovat QAM modulaci, která používá fázovou a amplitudovou modulaci.

2.1.5 Amplitudové digitální modulace

Modulace ASK

Modulace s klíčováním amplitudy - neboli AMPLITUDE SHIFT KEYING. V základu nemá dobré vlastnosti, proto se nevyužívá. Při logické 0, amplituda je minimální. Při logické 1, amplituda je maximální. Také se označuje jako klíčování amplitudovým posuvem, zdvihem. Při dvou stavech označovaná jako BASK – BINARY.



Obr. 2 ASK modulace

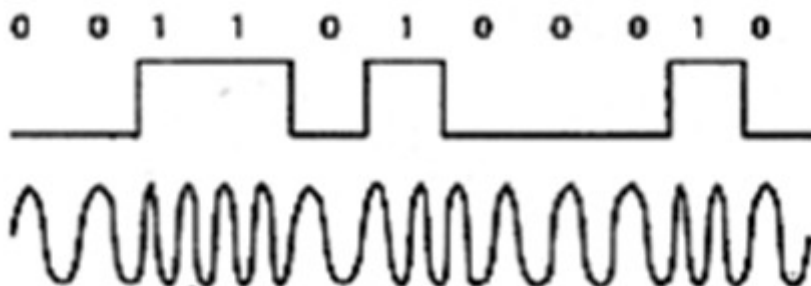
2.1.6 Frekvenční digitální modulace

Modulace FSK

Modulace s klíčováním frekvence – neboli FREQUENCY SHIFT KEYING. Je založeno na změně frekvence nosné vlny. Nosná vlna má konstantní amplitudu a střídají se frekvence f_1 a f_2 v rytmu digitálního binárního modulačního signálu.

$f_1 = f_c - \delta f$ a $f_2 = f_c + \delta f$, přičemž $f_c = (f_1 + f_2)/2$ je nominální frekvence nemodulované nosné vlny a δf je frekvenční zdvih, tzn. odchylka od frekvence nosné vlny.

Označována jako klíčování frekvenčním zdvihem (posuvem). Logická 1 je přiřazen jeden kmitočet, logické 0 druhý. Dvojstavová FSK, má označení BFSK, popř. 2FSK. Tahle modulace je považovaná za velice bezpečnou. Nevýhodou je vyšší cena zařízení, vyšší energetická náročnost a pomalejší přenos. Využívaná tedy tam, kde je potřeba vysoká bezpečnost. V praxi realizováno přepínáním dvou oscilátorů s frekvencemi f_1 a f_2 .



Obr. 3 FSK modulace

Modulace MFSK

Vícestavové FSK – variace FSK, obsahující víc jak dva stavy. Nosná vlna znázorňuje vždy jednu z M signalizačních frekvencí. Každé vlně je přiřazena bitová skupina o $n = \log M$ bitech. M většinou bývá do 64.

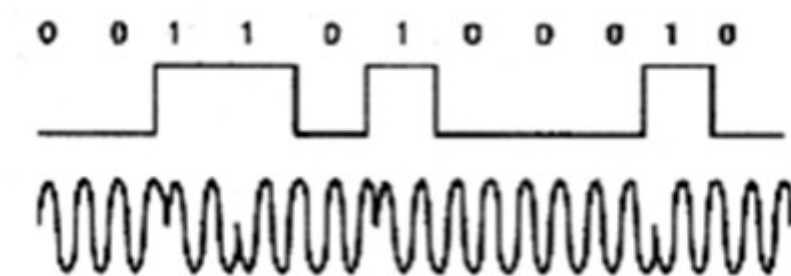
2.1.7 Fázové digitální modulace

Modulace PSK

Modulace s klíčováním fáze – neboli PHASE SHIFT KEYING.

Využívá k přenosu informace změnu fáze o přesně danou hodnotu. Amplituda zůstává konstantní. U BPSK nabývá fáze stavy, např. 0° a 180° .

Logická 1 znamená fázový stav 0 oproti nosné vlně – žádná změna. Logická 0 znamená fázový posun o 180° . Tenhle přesný typ, není moc využíván a byl nahrazen novějšími.



Obr. 4 PSK modulace

Modulace D-BPSK

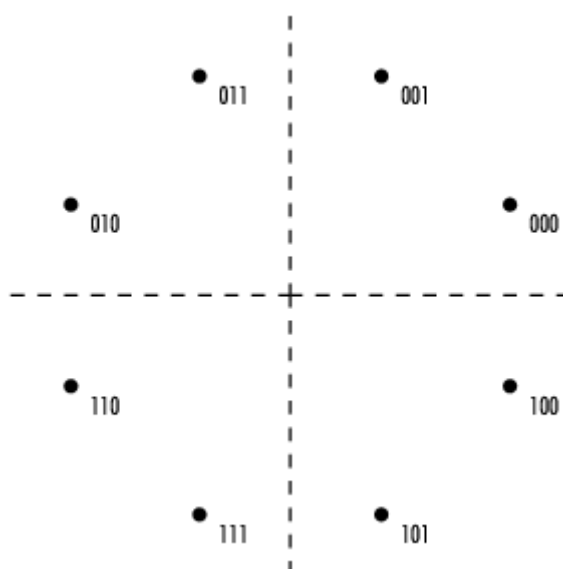
Modulace BPSK s diferenciálním kódováním – neboli DIFFERENTIAL BINARY PSK.

V modulaci BPSK demodulátor velmi obtížně získává referenční nosnou vlnu, proto vzniklo diferenciální klíčování. Informace není nyní uložena v hodnotě bitu modulačního signálu, ale ve změně této hodnoty oproti předchozímu stavu. Využíváno ve Wi-Fi – standard 802.11b.

Modulace MPSK

M-stavová PSK – M-ary PSK. Nosná vlna má konstantní amplitudu. Nabývá jeden z M možných fázových stavů. Maximální použitelná je 8PSK, více stavů než 8 zaručuje velkou chybovost. Většinou se zobrazuje v IQ rovině.

Počet stavů M	2	4	8	16... už se nevyužívá
Spektrální účinnost	1 bit/s/Hz	2 bit/s/Hz	3 bit/s/Hz	4 bit/s/Hz

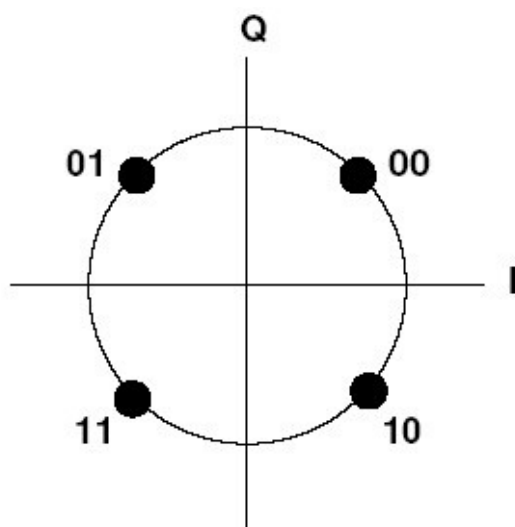


Obr. 5 Konstelační diagram 8-PSK

Modulace QPSK

Modulace čtyřstavová PSK – neboli Quadrature Phase Shift Keying. Patří mezi nejdůležitější kategorie více stavových PSK modulací. Ideální kompromis mezi dobrou spektrální a výkonovou účinností. Většinou vyjadřovaná stavy 45° , 135° , 225° a 315° nebo 0° , 90° , 180° a 270° . Každému stavu odpovídá DIBIT – bitová dvojice.

Bitovou chybovost má stejnou jako BPSK, ale bitová rychlost je dvojnásobná. Jako BPSK, existuje varianta D-QPSK, která řeší obtížnou regeneraci referenční nosné vlny při demodulaci.



Obr. 6 Konstelační diagram QPSK

2.1.8 Kombinované digitální modulace

Modulace QAM

Kvadraturně amplitudová modulace – Quadrature Amplitude Modulation. Byla označována kdysi jako AM/PSK.

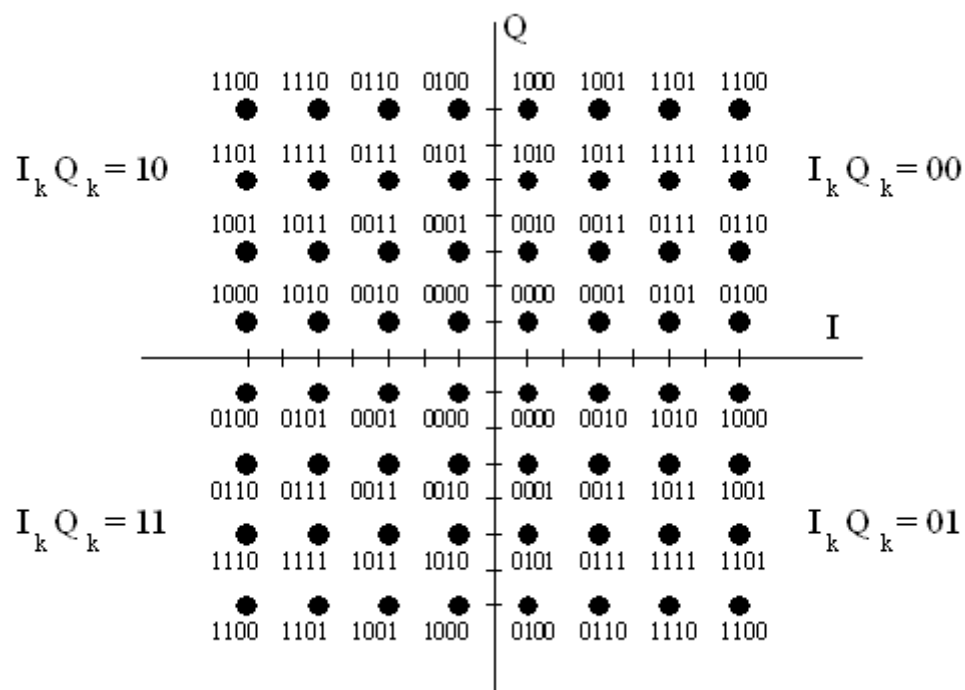
Typickým znázorněním je kruhový a čtvercový konstelační diagram.

Tahle modulace je kombinace amplitudového a fázového klíčování. Signál si lze představit jako dvě sinusoidy, každá nosná modulovaná amplitudovým klíčováním. Kombinované do jedné, fázovým posuvem, nebo lze na ní pohlížet jako ASK a PSK modulaci jedné nosné vlny.

Může používat 12 různých fázových posunů a 3 různé amplitudy. Dohromady máme 32 různých stavů. Jelikož tyhle stavy jsou dost u sebe, těžko je přijímač rozlišuje, proto v praxi používáme jen 16 (16-QAM). Každý z těchto stavů znázorňuje jednu čtveřici bitů.

Modulace patří mezi jedny z nejstarších, ale také nejlepších. 2QAM a 4-QAM jsou klasické BPSK a QPSK modulace. 8-QAM je značně zvláštní, kvůli dělení stavů do dvou vln a 8-PSK je mnohem jednodušší na použití, proto se neuvádí a vypouští.

V praxi se začíná využívat 16-QAM. 64-QAM a 256-QAM se používá pro digitální televizi, kde v USA se jedná o nařízené modulace pro digitální kabel v standartu ANSI/SCTE 07 2000. Starší typy QAM se využívali ve starých modemech.



Obr. 7 64- QAM

3 Technologie digitální účastnické smyčky

DSL – Digital subscriber line, je vývojová odpověď na potřebu stále větší datové náročnosti zákazníku a firem. V současnosti je stále nepříjemné dovést optický kabel přímo až k uživateli. Tuhle mezeru využila technologie DSL ke svému prosazení a prozatím si vede úspěšně.

Technologie DSL se oproti technologiím optických vláken nedá srovnávat, ale základní trumf této technologie, je ve využití lokálních smyček – metalického vedení telefonní sítě, který vede ke každému bytu. Není potřeba vybudovat žádnou novou duplicitní infrastrukturu, jako v optických sítích. Tenhle fakt vedl převážně EU a jiné nadnárodní společnosti vyzdvihnout technologii DSL. Změnit tohle rozhodnutí mohou jen velcí operátoři, svými investicemi do optických sítí. Převážně ze strachu po vybudování optické infrastruktury, by museli vlastní síť dovolit k použití ostatním operátorům v rámci konkurence. Takle situace se už udála v minulosti u metalického vedení. K tomu DSL ještě neukázalo svoje maximální technologické možnosti a v současnosti stávající rychlosti dostačují běžným uživatelům. Z ekonomických důvodů tuhle technologii uvidíme ještě delší dobu, díky nízkým nákladům a stále vyvíjející technologii. Na druhou stranu, nelze mít přehnané ambice. I tato technologie ukáže brzy svoje teoretické maximum a bude muset být nahrazena optikou, u které vědci nemají ponětí, kde skončí.

3.1 Symetrické DSL

Symetrická technologie má stejnou přenosovou rychlost v směru od uživatele k ústředně, jako od ústředny k uživateli. Symetrické DSL se používají převážně v podnikové sféře, kde je potřeba mít dostatečnou rychlost v obou směrech.

Opakem je asymetrická technologie. Směrem k uživateli (downlink) bývá několikrát větší než k ústředně (uplink). Časem, bylo zjištěno, že běžný uživatel internetu nepotřebuje mít velký uplink, z důvodu nevytíženosti. Pro webové služby nebo pro video-on-demand, stačí mít dostatečně kvalitní downlink. V současnosti, kdy se rozmáhají videokonference, a zasílá se video oběma směry, už asymetrické technologie budou rychle vytlačovány.

Rodina technologií xDSL je rozsáhlá, první vývoj se datuje k 80. let minulého století.

3.1.1 IDSL

Nejstarší a zapomenutá technologie DSL. Často se ani neuvádí. IDSL znamená ISDN digital subscriber line. Tato technologie je hybrid mezi ISDN a DSL. Na rozdíl od ISDN, tato technologie

umožňuje telefonovat klasickou linkou a posílat data najednou, není vytáčená a je vhodnou možností pro zákazníky, kteří nemají službu DSL ve své oblasti. K tomu potřebuje druhou linku, přes kterou půjdou data a zařízení na ní pracující jsou DSL typu. Technologie se neuchytila, díky nízkým přenosovým rychlostem: 144 kb/s. Rozdílem mezi IDSL a ISDN je také v poplatcích. ISDN platí za každé vytočení a IDSL platí paušální poplatek bez ohledu na dobu užívání.

3.1.2 High-bitrate DSL

HDSL technologie začala vznikat na přelomu 80. a 90. let. Vyvinuta v Americe a hodně rozšířena převážně na severu. Symetrická technologie, v základu využívá dvě nebo tři kroucené dvojlinky. Existují dva standardy: T1 s celkovou rychlostí 1.544 Mbit/s a standard E1 s rychlostí 2.048 Mbit/s. Tyhle uvedené rychlosti se rozdělí na půl při použití dvou páru, kde půlka přenosové rychlosti půjde každým párem v obou směrech, nebo podobně třetina přenosové rychlosti při použití třech linek.

Z toho vyplývá nevýhoda počtů linek ke každému uživateli, které značně redukuje počet připojených uživatelů na reálně položené linky. Na druhou stranu, více linek nám umožní poskytovat službu do větší vzdálenosti, díky nižší šířce pásma na každém páru.

Dosah dvou párové HDSL je 3,7 km, ale může být zvětšen opakovací.

HDSL používá 2B1Q modulaci v základním pásmu s využitím potlačení ozvěny nebo modulaci CAP. Při 2B1Q modulaci nelze souběžně využívat ISDN nebo telefonní služby, na rozdíl od modulace CAP.

Všechny nedostatky vedly na konci 90. let k vytvoření nové vylepšené technologie HDSL2.

3.1.3 High-bitrate DSL2

Ve snaze odstranit neduhy HDSL technologie byla vyvinuta druhá generace HDSL nebo tzv. HDSL2. Hlavním cílem bylo využití jen jednoho páru při zachování stávajících parametrů, hlavně stejné délky. Stále k oddělení směrů byla využívána technologie potlačení ozvěny, ale inovace přišli ve formě nové modulace. Trellis-coded modulace, ve zkratce označovaná jako TCM, nabídla výkon ve formě několika dB navíc. Standard nabídl 5dB zisk. Dále využívá modulace 16-PAM, s třemi informačními bity a čtvrtý jako kontrolní součet.

Na rozdíl od 2B1Q HDSL, HDSL2 přenáší signál přes dvě překrývající se spektra. Takle asymetrie – neplést s asymetrií přenosové rychlosti, snižuje přeslechy a umožňuje použití jednoho páru.

Dosah a rychlost HDSL2 je totožná s HDSL a může být na větší vzdálenost rozšířena pomocí opakovacích.

Nakonec byla vytvořena ještě poslední technologie HDSL4, která je dvoj párová HDSL2, kde polovina rychlosti jde každým směrem. Využívá technologie HDSL2 ale dosah se zvětšil a šířka pásma je snížena, k tomu vede menší útlum. Jako HDSL2 využívá 16-PAM s asymetrickým spektrem, na rozdíl od HDSL2 jsou spektra dosti rozdílné.

3.1.4 Symmetric DSL

SDSL, není žádná nová převratná technologie, využívá 2B1Q kódování přes jeden pár, jako HDSL2. SDSL nebyla nikdy standardizovaná, přesto se o ní hodně mluví jako předchůdce G.SHDSL.

Často se o ní uvažuje jako o typu připojení přes jeden pár, který využívá symetrickou technologii, než jako samotnou variantu připojení.

V Evropě označení SDSL standardizovaná společností ETSI(European Telecommunications Standards Institute), značí G.SHDSL a často se termíny velmi pletou.

3.1.5 G.SHDSL

Další z řad DSL technologií. Jak poznamenáno výše, v Evropě známa jako „ETSI SDSL“. Zde můžeme nastavovat symetrickou přenosovou rychlost mezi 192kbit/s až po 2.304 Mbit/s s inkrementací 8 kbit/s přes jeden pár. Standart nám dává možnost využít i dva páry k dosažení větší vzdálenosti.

Technologie neumožňuje používat splityry nebo filtry, proto neexistuje koexistence s analogovou a digitální ústřednou.

Používá 16-TC-PAM modulaci a spoustu technik předcházejících technologií. Spousta elementů G.SHDSL jsou vypracovaná pro daný geografický region. Vznikají pro každou oblast Annexy. Např.: Annex A obsahuje informace specifické pro severní Ameriku, Annex B obsahuje detaily o nastavení v Evropě. Jednotlivé Annexy, byly vytvořeny ve svých regionálních vlastních nadnárodních organizacemi – např.: ETSI v Evropě a ANSI v Americe.

G.SHDSL systémy mají dvoufázové navazování spojení. Pre-activation a Core Activation. V první fázi si přijímač vymění informace o svých možnostech a potvrdí svou nejlepší konfiguraci v rámci dané smyčky a ostatních parametrů, jako jsou vzdálenosti, útlum apod. Tahle fáze je důležitá z důvodu velké možnosti nastavení, jak povinného tak doporučeného. V rámci fáze si přijímače testují síť a posílají testovací data.

Jakmile se přijímače domluví na kvalitě připojení, začíná fáze „core activation“. V téhle fázi začíná přenos požadovaných dat.

Dalším vývojem téhle technologie bylo vylepšené základní specifikace. Ze dvou páru, se bude moci použít i více, většinou až 4 páry. Přenosová rychlost může být zvětšena až na 5.696 Mbit/s. A také byla přidána podpora pro paketový mód.

3.2 Asymetrické DSL

Opakem je asymetrická technologie. Směrem k uživateli (downlink) bývá několikrát větší než k ústředně (uplink). Po studiích, bylo zjištěno, že běžný uživatel internetu nepotřebuje mít velký uplink, z důvodu nevytíženosti. Pro webové služby nebo pro video-on-demand, stačí mít dostatečně kvalitní downlink. V současnosti, kdy se rozmáhají videokonference, a zasílá se video oběma směry, už asymetrické technologie budou rychle vytlačovány.

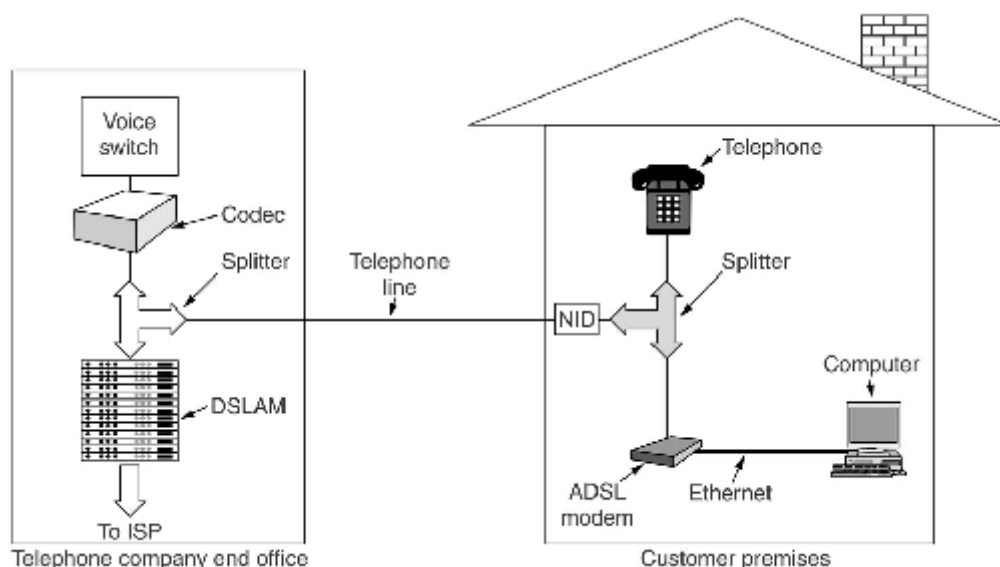
Rodina technologií xDSL je rozsáhlá, první vývoj se datuje k 80. let minulého století.

3.2.1 Asymmetric DSL

Zkratka ADSL, je určena pro podnikovou sféru. Symetrické datové přenosy mají hlavní využití u podnikových zákazníků, ale nemůže se zapomenout na obrovský trh, který představuje domácnosti. Požadavky běžných uživatelů daly vzniknout této technologii, jsou to tedy webové služby, streamování videa, poslech hudby, obrázku nebo on-line hraní her. Všechny tyto služby potřebují kvalitní downstream a upstream může být dostatečně snížen.

Nejvíce rozšířena forma této možnosti má ve svém původním standartu ADSL možnost stahování přes downstream 8 Mbit/s a 896 kbit/s v upstreamu. Přenos využívá jeden pár. Prvním důvodem k vytvoření této služby bylo video na přání, v originále video-on-demand, přesto ADSL se rychle proměnilo ve vysokorychlostní připojení v půlce devadesátých let.

V ADSL jsou pár nízkých frekvencí KHz nevyužity pro současné využití POTS. K oddělení pásem (ADSL a POTS), tj. telefonického (nebo ISDN) kanálu a kanálu vysokorychlostního se využívají filtry – „splittery“.

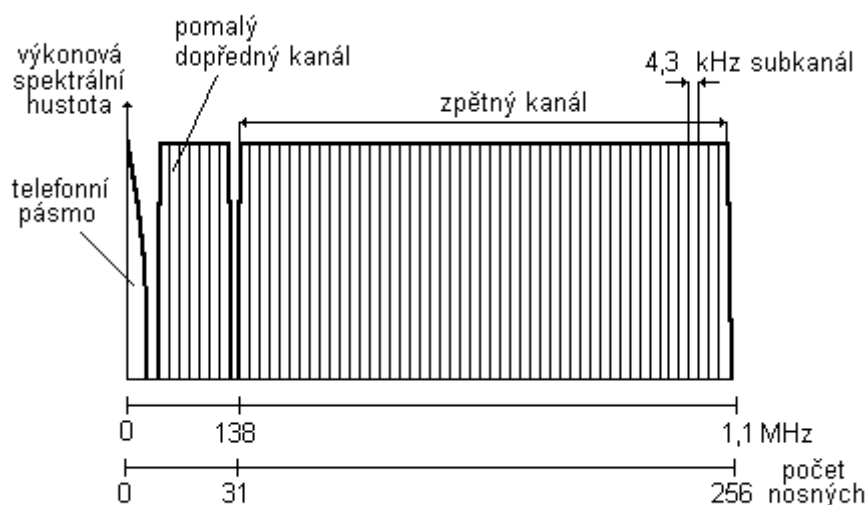


Obr. 8 ADSL diagram

Jako pokročile symetrické DSL i ADSL používá sofistikované technologie, např. oprava chybových kódů, v originále error-correcting codes nebo různé techniky pro zvolení optimální přenosové šířky dané linky, podobně jako G.shdsl používá line probing. ADSL tedy používá pokročilý bitový alokační algoritmus, určující, kde nejlépe rozdělit energii v použitém přenosové šířce.

Rychlost přenosu upstreamu je několikrát menší než downstreamu, proto ADSL využívá mnohem nižší přenosovou šířku. Přenos upstreamu tedy převážně bývá využit frekvenci 25 KHz do přibližně 138 kHz. Opačný přenos se může objevit v obou šířkách, záleží na způsobu ADSL přijmač. Plné překrytí mezi oběma směry může být také často využito, proto downstream používá frekvence od 25 kHz až po 1.104 MHz. Tahle výhoda nám dává možnost využít větší pásmo pro přenos downstreamu, což nám přinese větší přenosové rychlosti. Samozřejmosti jsou pokročilé echo cancelation techniky a také přeslech v upstream směru je dost zvýšen.

Dále se používá také frekvenční multiplex FDM, kde se ani jeden směr nepřekrývá, v tomhle případě downstream přenos začíná kolem frekvence 138 kHz.



Obr. 9 ADSL bez ISDN

Splitterless ADSL

Vyvinula se také varianta, která u ADSL nevyužívá splitter. Samozřejmě odstraněním filtrů se pře líná POTS služba do ADSL přenosu a naopak. V tomhle způsobu je využit tzv. „in-line“ nízko pásmový filtr u každého telefonu. Tato varianta je známa jako „splitterless“, i přes použití in-line filtru. ITU vytvořila standart G.lite k popsání téhle splitterless varianty.

Rychlost přenosu downstreamu je limitován na 1,5 Mbit/s, a tohle byl důvod, proč se na trhu neujal.

ADSL2, ADSL2plus

Od doby vytvoření původní ADSL specifikace, vznikla spousta vylepšení ke zvýšení výkonů – vyšší přenos, větší dosah nebo lepší management a diagnostika.

ITU k originálnímu znění specifikace G. 992.1 vytvořila G. 992.3 a všechny tyhle vylepšení do ní zasadila, tahle varianta byla známa také jako „ADSL2“.

Mezi vylepšení patří Trellis kódování, které bylo jen doporučené. Zvětšení výkonů se projeví na delší maximální možné vzdálenosti. Dále pak „seamless“ rate adaptation, metoda umožňující neustále měnění přenosové rychlosti a distribuce přes celou šířku pásma. Změna error-correction kódování. Vylepšený inicializační proces a jeho zrychlení – kolem 3 sekund. Plně digitalizovaný mód, který umožňuje v POTS přenosu přenášet další data ADSL modemu.

Další specifikace ADSL2, známá jako ADSL2plus, byla vytvořena. Hlavním pilířem je rozšíření vrchního limitu downstreamového přenosového pásma ze 1.1 MHz na 2.2 MHz. Takle změna nám zvýší přenosovou rychlost na malé a střední smyčky.

3.2.2 Very-high bit rate DSL

VDSL v současnosti nejrychlejší vysokorychlostní DSL technologie. Vytvořena ve dvou variantách, v symetrickém i asymetrickém provedení. Symetrický typ je určen především pro podnikové služby, podporuje 13 a 26 Mbit/s a asymetrický způsob je vytvořen pro běžné koncové zákazníky s rychlosti 52 Mbit/s v downstreamu a až 6.4 Mbit v upstreamu.

Tyto rychlosti mohou být zaručeny jen na menších vzdálenostech, výše uvedené maximální čísla jsou dosažitelná jen do 300 metrů. Maximální doporučený standard je 1500 metrů.

Tento typ DSL je označován jako hybridní. Jako část své přístupové sítě využívá optickou síť. Pasivní optická síť je přivedena co nejdále. Optická síťová jednotka (ONU) bývá umístěna většinou na konci ulice a dále je využita VDSL technologie do jednotlivých domů, poskytující největší rychlost.

VDSL umožňuje využívání klasických telefonních linek nebo ISDN přenosů současně s datovými přenosy, díky konceptu splitteru jako u ostatních technologií.

Tato DSL varianta může používat frekvenční multiplex FDM k oddělení informačních kanálů upstreamu a downstreamu nebo využívá echo-cancelation (česky potlačení ozvěn), které umožňuje menší překrývání datových toků. V praxi echo-cancelation se nedá použít, kvůli obrovskému přenosovému pásmu, až 30 MHz. VDSL se tedy zaměřuje na frekvenční multiplex FDM.

3.2.3 Budoucí vývoj

Masově rozšířena ADSL zažila svoje nejlepší léta, byla známa vysokorychlostním připojením za velmi rozumné ceny. Neustálý tlak na vyšší rychlosti, dostihl i ADSL, která je na svém rychlostním maximu a musí být nahrazena jinou technologií. Nástupcem se stává VDSL, která obsahuje až pětinašobně vyšší přenosovou rychlost.

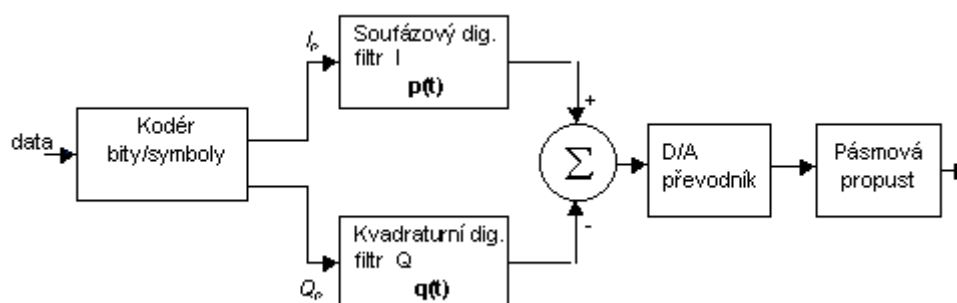
Od 9. května přechází operátor O2 na VDSL, stávajícím zákazníkům automaticky zvýší rychlost, pokud je služba v jejich lokalitě dostupná. Tohle je první krok k nahrazení ADSL rychlejší technologií VDSL.

4 Digitální modulace v ADSL

ADSL využívá jednoho z dvou modulačních přístupů. Prvotní byla CAP modulace, která byla nahrazena nyníjším standardem více tónové DMT modulace.

4.1 *Carrierless amplitude phase modulace*

CAP je alternativa ke QAM. Využívá digitální filtrování přes dvojici Hilbertových filtrů místo modulace amplitudy na dvou nosných vlnách, jako u QAM. Amplitudová odezva těchto filtrů je stejná, ale jsou fázově posunuty o 90° .



Obr. 10 Blokové schéma CAP modulace

Na blokovém schématu lze vidět, jak kodér rozděluje data na dvojici Hilbertových filtrů – soufázový (in-band filter) a kvadrurní (Quadrature filter).

4.1.1 CAP/QAM Dual Mode

Existuje také varianta duálního modu, který umožní CAP a QAM modemům spolupracovat. Stačí, když přijímač je schopen přijímat oba signály. Jelikož CAP a QAM signály jsou takřka stejné, liší se jen v rotaci, je praktické naimplementovat obě možnosti do přijímače. Přijímač pozná, který typ je zasílán podle konstelačního diagramu.

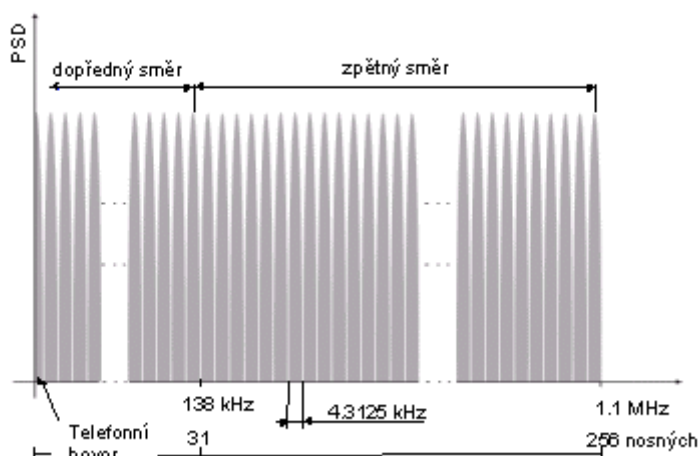
CAP se dá považovat za před standart ADSL do roku 1996, využíván v 90% instalacích. Nyní je už vytlačen a využíván jen v určitých variantách HDSL.

4.2 Diskrétní více tónová modulace

Discrete multitone modulace patří do skupiny MCM(multi-carrier modulaci) využívající rozdělení frekvenčního pásma do mnoha sub-kanálu k přenosu dat. Pokud jsou kanály dostatečně úzké, šum bývá velmi zanedbatelný.

Příchozí sériová data jsou převedena na paralelní a seskupeny do bloků. Bity v blocích jsou rozděleny do sub-bloků a každý sub-blok je určen k určitému sub-kanálu. V sub-bloku je různý počet bitů (2-15 bitů) a nastavuje se během inicializace a záleží na výkonu, počtu přenášených dat a vlastnostech vedení.

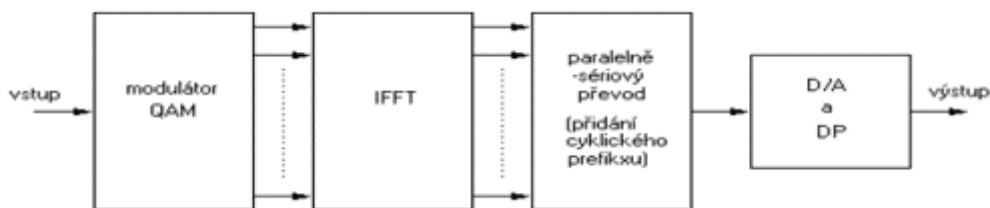
Přímo v ADSL je přenosový kanál rozdělen na 256 dílčích sub-kanálu o šířce 4312,5 Hz.



Obr. 11 ADSL DMT

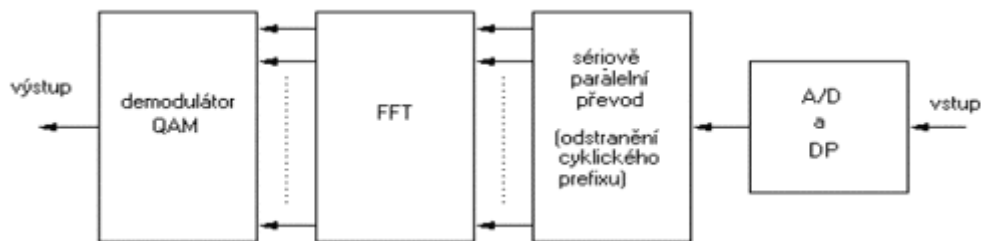
V každém sub-kanále probíhá kvadraturně amplitudová QAM modulace. Při 2 bitech se použije čtyřstavová QAM, při 4 bitech se použije 16-ti stavová QAM, kde až při maximu 15ti bitech vznikne 32 768 stavů, přesto se v praxi nikdy nepoužívá více jak 12 bitů. Každý kanál může mít různý počet bitů a dokonce, pokud je potřeba, je možnost určité kanály vynechat. Počet bitů závisí na poměru signálu a šumu (signál to noise ratio- SNR).

Po QAM modulaci přichází na řadu IFFT – inverzní rychlá Fourierova transformace, která změní komplexní část QAM složky na reálnou v časové oblasti. Jednotlivé sub-kanály nejsou zcela nezávislé, proto je přidán tzv. cyklický prefix, který má za úkol vyloučit interference mezi sub-kanály. Výsledný vzorkovaný signál je, ať již s prefixem nebo ne, je přiveden na D/A převodník a přes dolní propust vyslán do přenosového kanálu. Schéma si můžeme prohlédnout na obrázku.



Obr. 12 DMT vysílač

V přijmač probíhá inverzní proces. Signál se přes A/D převodník převede do digitální formy, odstraní se cyklický prefix, pokud byl využit. Dále se provede Fourierova transformace a naposled se demoduluje QAM.



Obr. 13 DMT přijmač

Rozdělení na sub-kanály a přiřazení maximálního počtu bitu ke každému z nich, dělá DMT modulace jako využití teoretického maxima. Z důvodu závislosti přenosové rychlosti na SNR kanálu, lze sledovat změny SNR a dynamicky měnit přenosovou rychlost pro maximální využití.

4.3 Porovnání

DMT má oproti CAP pár znatelných výhod. Přidělením přenosové rychlosti na sub-kanály podle SNR využívá efektivně kapacitu technologie, CAP nic takového neumí, používá jen jednu nosnou. DMT je také odolnější proti burstu – impulsovému šumu a vykazuje větší výkon při větších přenosových rychlostech.

Na druhou stranu má DMT i pár nevýhod. Fourierova transformace způsobuje přenosové zpoždění, které občas vede k nedodržení ADSL standartu a také synchronizace trvá o něco déle. Celý systém je taky náročnější na návrh.

5 Realizace vybrané modulace formou návodu na cvičení

Jako první modulaci jsem zvolil amplitudové klíčování. Amplitudová modulace je nejsnáze pochopitelná, proto se hodí jako první laboratorní měření na pochopení problematiky modulací. Druhý návod na cvičení bude vytvoření 4-QAM signálu. Tento signál je totožný s QPSK signálem. Z důvodu podobnosti mezi jednotlivými generátory, vytvoříme QPSK generátor signálu, který se lépe sestaví na systému TIMS.

5.1 Výukový stroj TIMS

Zkratka TIMS znamená Telecommunication Instructional Modelling System. Jedná se o flexibilní trenažer, na kterém mohou studenti vytvářet podle schémat velké množství laboratorních měření, které by jinak byly pomalu nemožné odzkoušet.



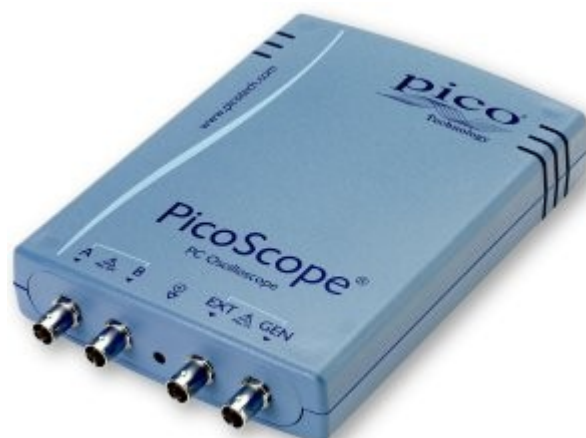
Obr. 14 TIMS

Systém se skládá ze dvou částí. Spodní část je kombinace nejdůležitějších funkcí, které jsou nejčastěji používány. Vrchní část tvoří PLUG-IN moduly, které jsou vyjímatelné. Do nich můžeme zasunout velké množství různých modulů právě pro vybrané experimenty.

TIMS je plně samostatný, jediné vybavení, které je potřeba je osciloskop. Použití je jednoduché a rychle k pochopení. Každý modul má na levé straně vstupy a na pravé výstupy.

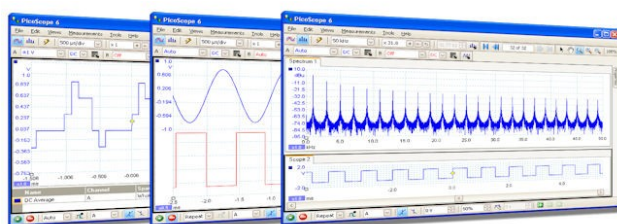
5.2 Osciloskop PicoScope

Výhod PC Osciloskopů je mnoho. Jsou malé a přenosné, nabízejí využití monitoru k velkému a barevnému zobrazení dat. Paměť není nijak omezená a veškerý signál může být uložen na disku PC. Obsahuje vysokorychlostní přenos dat přes USB. Nejen z těchto důvodů jsem využil PC osciloskop od firmy Pico technology.



Obr. 15 Osciloskop PicoScope

K tomuto osciloskopu patří také software PicoScope. Přátelský interface, spousta funkcí jako XY osciloskop, automatické nastavení vhodného zobrazení, generování a zachytávání grafu, vše jednoduše a přehledně.



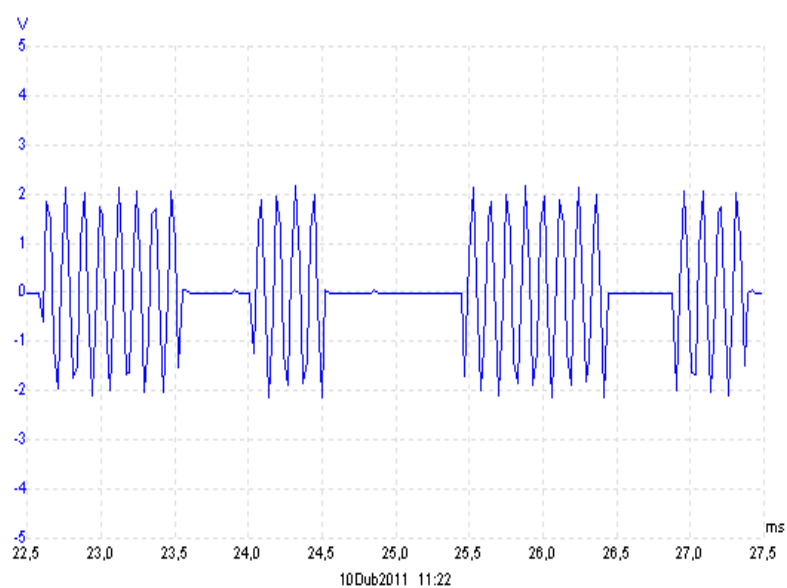
Obr. 16 Software PicoScope

5.3 Laboratorní měření ASK signálu

K realizaci tohoto zapojení budeme potřebovat těchto modulů: AUDIO OSCILATOR, SEQUENCE GENERATOR, DUAL ANALOG SWICH. K prvnímu kroku demodulace je zapotřebí ještě modulu UTILITIES a TUNEABLE LPF.

Návod obsahuje teoretickou část, která poskytuje vysvětlení ASK modulace a náhled, čím se bude zabývat dané laboratorní měření.

V první části cvičení, studenti zapojí podle schématu v návodu generátor ASK signálu. Zobrazí ASK signál softwarovým osciloskopem PicoScope a uloží graf.



Obr. 17 Ukázka ASK signálu

V druhé části, budou muset upravit zapojení podle schématu demodulace v návodu, využijí současné zapojení a ASK signál začnou demodulovat. Výsledkem bude širokopásmový bitový tok.



Obr. 18 Ukázka demodulace

Studenti analyzují tento tok podle informací v teoretické části a sepišou náhodnou sekvenci dat, viditelnou na daném obrázku.

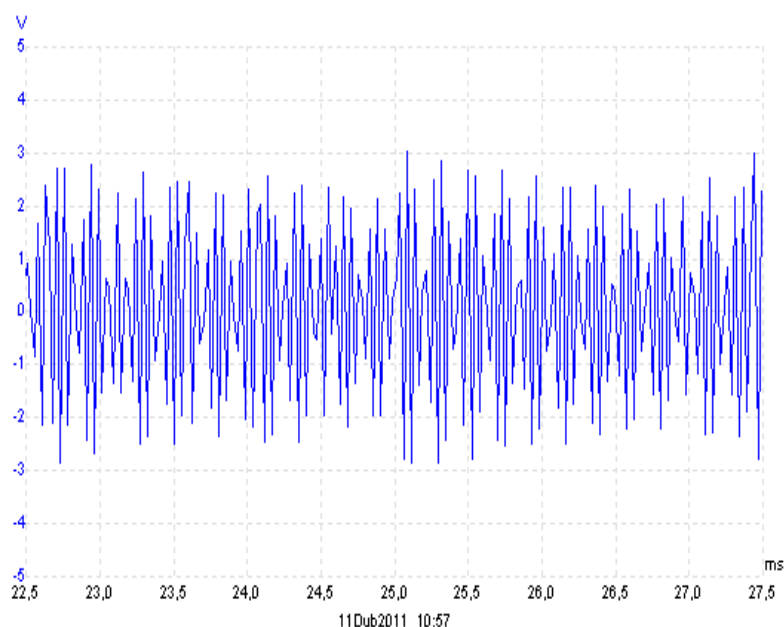
Návod obsahuje i teoretické úlohy k otestování základních znalostí studenta v problematice modulací. Student musí vědět co je to modulace, jaké existují modulace a základní pojmy, jako je modulační signál, nosná a modulovaný signál.

5.4 Laboratorní měření QAM/4PSK signálu

K sestavení zapojení budeme potřebovat SEQUENCE GENERATOR, dva moduly MULTIPLIERU, ADDER a 100kHz CHANNEL FILTER.

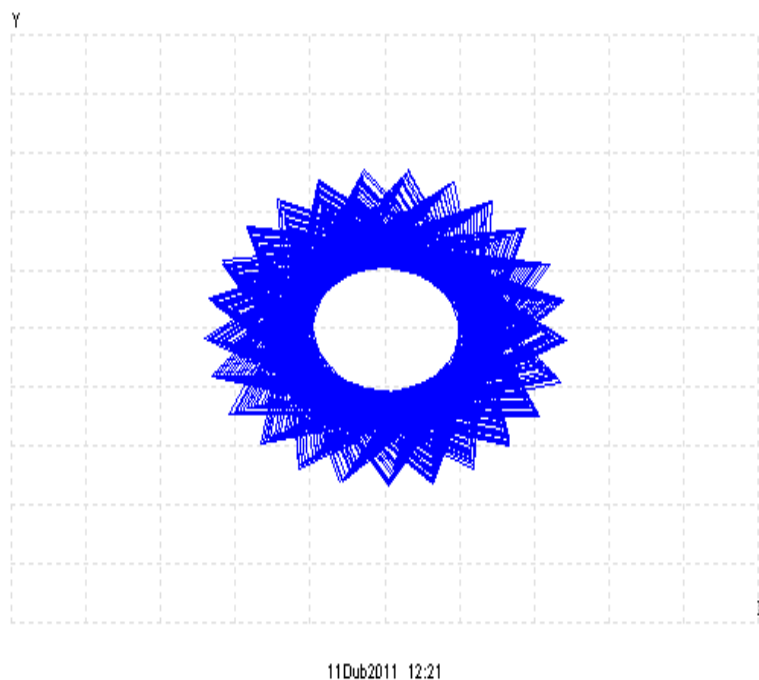
Součástí návodu je teoretická část s vysvětlením QAM modulace a její podobnosti s QPSK.

V tomto měření studenti vytváří 4-QAM signál, který je totožný s QPSK signálem. Jejich úkolem je podle schématu v návodu vytvořit QPSK generátor a zobrazit jej v programu PicoScope. Modulovaný signál uloží jako graf.



Obr. 19 Ukázka modulovaného signálu QPSK

Druhým úkolem v tomto měření je zobrazení společného diagramu jednotlivých kanálů. Je nutno využít funkci osciloskopu XY graf. Výsledek vypadá následovně.



Obr. 20 Diagram kanálů

Poslední částí je vypracování teoretických otázek. K otázkám z ASK měření jsem přidal praktické použití QAM, k uvědomění, že modulace QAM se využívali v historii, současnosti a jsou plány na její další využívání v nových technologiích.

6 Závěr

Tématem této bakalářské práce byly digitální modulační v telekomunikacích. V první kapitole jsem vytvořil přehled digitálních modulací s popisem základní charakteristiky. Přehled obsahuje amplitudové, frekvenční i fázové klíčování. Jsou uvedeny nejen dvoustavové ale i některé více stavové modulační.

V druhé části jsem se zaměřil na technologii DSL, jejím historickým vývojem přes symetrické typy jako jsou např.: HDSL, až po asymetrické typy do kterých patří např.: ADSL. Představili jsme si také novou VDSL, nástupce technologie ADSL. VDSL nabízí vyšší rychlosti a existuje ve dvou variantách, symetrické (pro podnikovou sféru) i asymetrické (pro běžné uživatele).

V třetí kapitole jsem se zaměřil na aktuální téma digitálních modulací v ADSL. Popsal jsem CAP modulaci – nyní nepoužívanou, ale do roku 1996 masivně rozšířenou ve většině ADSL a DMT modulací. DMT modulace je standart pro současné ADSL a je považována jako optimální kód, který se už zlepšit nedá.

Stěžejním úkolem bakalářské práce bylo vytvoření laboratorního měření pro studenty. Oba návody – ASK a QAM modulací – byly úspěšně zapojeny na výukovém stroji TIMS za použití PC osciloskopu PicoScope. Součástí praktické části jsou i ukázkové protokoly.

Z pohledu budoucího vývoje bude zajímavé sledovat nástup VDSL, rychlost jeho rozšíření a postupný zánik technologie ADSL. Přesto neočekávám novou digitální modulaci ve VDSL, těžko vznikne výkonnější modulační než DMT, ale třeba se něco změní za pár let.

Literatura

- [1] DOBEŠ, Josef; Žalud, Václav. *Moderní radiotechnika*. 1. vyd. Praha: Ben, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2.
- [2] Golden, P.; Dedieu, H.; Jacobsen, K. *Fundamentals of DSL technology*. 1. vyd. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. 457 s. ISBN 0-8493-1913-7
- [3] *Základy datových komunikací* [online]. URL: <http://www.earchiv.cz/1216/gifs/s3205.pdf> Poslední úpravy 2006. [citováno 2011-03-14].
- [4] *ADSL – 1.část* [online]. URL: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004072903> Poslední úpravy 29.7.2004. [citováno 2011-03-25].
- [5] *Po drátech a ještě rychleji* [online]. URL: http://mobil.idnes.cz/mob_tech.asp?c=A990624_0001722_mob_tech Poslední úpravy 24.6.1999. [citováno 2011-03-26].
- [6] *Přehled technologií xDSL (1) – IDSL a HDSL* [online]. URL: <http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=166&clanekID=170> Poslední úpravy 22.7.2002 [citováno 2011-03-26].
- [7] *Přehled technologií xDSL (2) – SDSL a g.SHDSL* [online]. URL: <http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=166&clanekID=169> Poslední úpravy 24.7.2002 [citováno 2011-03-26].
- [8] *Přehled technologií xDSL (3) - ADSL a ADSL. G.lite* [online]. URL: <http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=166&clanekID=168> Poslední úpravy 29.7.2002 [citováno 2011-03-26].
- [9] *Přehled technologií xDSL (4) – VDSL* [online]. URL: <http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=166&clanekID=167> Poslední úpravy 31.7.2002 [citováno 2011-03-26].
- [10] *Vysokorychlostní účastnické přípojky (xDSL)* [online]. URL: <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/xDSL.html> Poslední úpravy 2009 [citováno 2011-04-05].
- [11] *Modulace* [online]. URL: ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/Modulace.ppt
- [12] *Modulace*. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1.3.2005, last modified on 5.10.2010 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Modulace>.

Seznam příloh

- I. Laboratorní měření – ASK
- II. ASK – protokol
- III. Laboratorní měření – QAM
- IV. QAM - protokol